

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平4-304432

(43) 公開日 平成4年(1992)10月27日

(51) Int. Cl. <sup>5</sup>	識別記号	序内整理番号	F 1	技術表示箇所
G 0 2 F 1/35		7246-2K		
H 0 4 B 9/00	J	8426-5K		

審査請求 未請求 請求項の数 1 (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願平3-68557

(22) 出願日 平成3年(1991)4月1日

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社  
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72) 発明者 中沢 正隆

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 久保田 寛和

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(72) 発明者 山田 英一

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光ソリトン伝送方法

(57) 【要約】

【目的】 非ソリトン的な光成分を波形整形及びリタイミ  
ングを行なうことにより除去し、超長尺にわたってソリ  
トン伝送を実現し、経済的な高速光ソリトン伝送方法を  
提供する。

【構成】 光ソリトンパルス強度を決める規格化振幅A  
をA>1と設定して単一モード光ファイバーFに入射し、  
規格化振幅AをA>1と設定して単一モード光ファイ  
バーFへ入射した該ソリトンパルスが前記光ファイバ  
ーFを伝搬した後、該ソリトンパルスのパルス幅が光フ  
ァイバーFに入射したときのソリトンパルス幅と等しく  
なる位置に前記光ファイバーFでの光損失を補うための  
光増幅器AMを設置することにより、多中継長距離ソリ  
トン伝送を行なう方法において、複数中継ごとに波形整  
形およびリタイミング器Rで光ソリトンの波形整形およ  
びリタイミングを行なう。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 光ソリトンパルス強度を決める規格化振幅AをA>1と設定して単一モード光ファイバーに入射し、規格化振幅AをA>1と設定して単一モード光ファイバーへ入射した該ソリトンパルスが前記光ファイバーを伝搬した後、該ソリトンパルスのパルス幅が光ファイバーに入射したときのソリトンパルス幅と等しくなる位置に前記光ファイバーでの光損失を補うための光増幅器を設置することにより、多中継長距離ソリトン伝送を行なう方法において、複数中継ごとに光ソリトンの波形整形およびリタイミングを行なうことを特徴とする光ソリトン伝送方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光ソリトン通信方法に係り、特に複散光中継毎に光ソリトンの波形整形およびリタイミングを行なうことにより、安定でかつS/N比の良いソリトン信号を超長距離・大容量に伝送する方法に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光ファイバー中の光ソリトンはある振幅の光パルスを入射すると、群速度の波長微分が負となる異常分散波長域において、その群速度分散と非線形光学効果が釣り合うことにより、光損失がない場合には光ファイバー中を波形を変えずに伝搬するという特徴がある。またこの不変なパルス波形のパルス幅も100ピコ秒以下と狭い。このため、光ソリトンを用いた伝送方式は群速度分散に制限されない長距離、大容量の光通信を実現するうえで有望な方式であると言われている。しかし、現実の光ファイバーにおいては、わずかな光損失（波長1.55 μm帯で0.22 dB/km、1 km先で約5%光が弱まる）が存在するため、光ソリトンといえども長距離伝搬後には非線形性と分散とのバランスが崩れ\*

$$P_1 = (\lambda^2 |D| / 16) / (4\pi^2 c n_2 \tau^2) \quad (1)$$

【0005】 ここでλは波長、cは光速、n<sub>2</sub>は光ファイバーの非線形屈折率、Dは光ファイバーの波長入にお

$$Z_0 = (2\pi C \tau^2) / (|D| \lambda^2) \quad (2)$$

【0006】 で与えられる。また規格化伝搬距離Z<sub>0</sub>以外にソリトン周期Z<sub>so</sub> = (π/2) × Z<sub>0</sub>もよく使われ★

$$A = (P/P_1)^{1/2}$$

なお、パルス強度波形の半値全幅τ<sub>FWHM</sub>とτとの関係

$$\tau = \tau_{FWHM} / 1.76$$

である。

## 【0007】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、この欠点はA>1と設定するため伝送路に増幅作用を持たせた場合に比べてソリトンを形成しない非ソリトンの光成分が増加し、波形の変化が大きくなる点である。この非ソリトンの光成分は「非ソリトンの散逸成分」とも呼ば

\*波形が変化してしまう。このため、ソリトンの長距離伝送にはこの損失を補償する光増幅が大変重要となっている。

【0003】 従来、光損失によるソリトン波形の変化を補償するためには、誘導ラマン散乱を用いて、伝送路中に分布定数的に増幅作用を持たせることにより等価的に無損失の伝送路を作り、光ソリトンを伝搬させる方法が提案されている（A. Hasegawa : Appl. Opt. 23巻, P. 3302 (1984) , およびL. F. Mollenauer , J. P. Gordon , and M. N. Islam : IEEE J. Quantum Electron. QE-22巻, P. 157 (1986) , )。この方法は理想的なソリトン伝送路を提供するため長距離の伝搬に適しているが、システムの構成は複雑であり、さらに、伝送路全体にわたって一様な増幅利得を持たせることは困難であり、任意の場所において無損失の伝送路は得られていない。誘導ラマン散乱の利得が0.1 dB/mW以下と比較的小さいため、励起入力100mW以上必要となる欠点があった。

【0004】 最近では、伝送路中にある間隔において光増幅器を入れ、集中定数的に光ファイバーの損失を補償する方法によって長距離にわたって光ソリトンを伝搬させる新しい方法が提案されている（特開平1-68619、特開平2-1307、特開平2-128624、およびH. Kubota and M. Nakazawa : IEEE J. Quantum Electron. QE-26巻, P. 692 (1990) , )。この方法は、ソリトンの大きさをA>1に設定することにより増幅作用を持つ領域を極小化でき、構成が簡単になるため最近ソリトン伝送が世界で初めて実現されるに至っている（M. Nakazawa , K. Suzuki , and Y. Kikura : Photon. Tech. Lett. , 2巻, P. 216 (1990) , )。光ソリトンの振幅Aは次のように決めることができる。光ファイバー中における基本(N=1)光ソリトンの尖頭値パワーP<sub>1</sub>は次式により表される。

※ける群速度分散、Sは光ファイバーのコアの断面積である。また、光ソリトンの規格化伝搬距離Z<sub>0</sub>は、

★る、このP<sub>1</sub>を用いると任意の尖頭値パワーPをもつ光ソリトンの振幅Aは式(3)のように表される。

$$(3)$$

は、

$$(4)$$

なるという現象として観測される。「非ソリトン成分の残留分」と言うこともできる。たとえばA>2以上にして中継間隔を75 kmと従来の線形方式と同程度にまで拡張した場合でも非ソリトンの光成分が大きくなり、従来方式に比べて中継距離は延びるものの最大伝送（光中継しても）距離が制限されてしまっていた。

【0008】 また、Gordon-Haus 制限（光増幅器の雑

る)なるものがソリトン通信には存在し、このため最大の伝送距離が制限されていた(J. P. Gordon and H. A. Haus : Opt. Lett., 11巻, P. 665 (1986) )。

【0009】本発明は上記の実情に鑑みてなされたもので、集中定数型の光増幅器を用いた多中継ソリトン伝送において $A>1$ と設定するために必然的に発生する非ソリトンの光成分を波形整形及びリタイミングを行なうことにより除去し、超長尺にわたってソリトン伝送を実現し、経済的な高速光ソリトン伝送方法を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は上記課題を解決するために、光ソリトンパルス強度を決める規格化振幅 $A$ を $A>1$ と設定して単一モード光ファイバーに入射し、規格化振幅 $A$ を $A>1$ と設定して単一モード光ファイバーへ入射した該ソリトンパルスが前記光ファイバーを伝搬した後、該ソリトンパルスのパルス幅が光ファイバーに入射したときのソリトンパルス幅と等しくなる位置に前記光ファイバーでの光損失を補うための光増幅器を設置することにより、多中継長距離ソリトン伝送を行なう方法において、複数中継ごとに光ソリトンの波形整形およびリタイミングを行なうことを特徴とするものである。

【0011】

【作用】本発明は、集中定数的な光増幅器を持つ構成を取りつつ、伝搬中に生じる非ソリトンの光成分を除去することにより、安定で $S/N$ 比の高いソリトン信号を長距離にわたって伝搬させることにより、経済的かつ、ソリトンの伝送距離が大幅に拡大できることを主要な特徴とする。その際、光中継増幅器および光ソリトン発生器からの出力光パルスの強度を振幅 $A>1$ に相当する強度にすることおよび波形整形、リタイミングを行なうことが重要である。波形整形には応答の早い半導体レーザー増幅器による光スイッチ、 $LiNbO_3$ などの変調器、その他あらゆる高速の光スイッチを用いることが出来る。また、光増幅器としては半導体レーザー増幅器、エルビウム(Er)ドープ光ファイバー増幅器等を用いることができる。従来、このような構成では、 $A>1$ のみの条件により波形の変化を利用して伝送距離を延ばすようにしていたが、本発明では、光ソリトンに重畳される非ソリトンの光成分を取り除くことで、さらに積極的な伝送距離の拡大を図ったものであり、全体として10,000km以上の高速ソリトン伝送を可能にするところが従来の技術と異なる。

【0012】

【実施例】以下図面を参照して本発明の実施例を詳細に説明する。

【0013】図1は光ソリトンを用い伝送システムの構

成は光増幅器、Rは波形整形およびリタイミング器(可飽和吸収体の実施例では波形整形のみを意味する)、Fは光ファイバー、である。これを動作させるには、まず電気信号を、光ソリトン発生器1により光ソリトンパルスに変換し、この光ソリトンパルスを光ファイバーFに伝搬させる。光ファイバーFの損失によるソリトン振幅の低下を補うため、光増幅器AMにより増幅した後、次の光ファイバーFに入射する。光増幅器AMとしては半導体レーザー増幅器、もしくはエルビウム(Er)ドープ光ファイバー増幅器等を用いる。 $A>1$ のソリトンを各光ファイバーFにおいて励起するため非ソリトンの光成分が累積されてくる。この不必要な光成分を波形整形およびリタイミング器Rにより除去することによりきれいなソリトンパルスに再生した後、再び中継伝送を行なう。波形整形は複数回の光中継毎に一度行えば充分である。この、伝搬と光増幅および波形整形を数回ないし数十回繰返した後、受光器2により電気信号に変換する。各々の光ファイバーの長さは25~50km以上である。このとき本発明では、光ファイバーへの入射パルスの強度を振幅 $A>1$ とすることにより、波形の変化を積極的に利用して光増幅器の設置間隔(光ファイバーの長さ)を延ばしている点も重要なことである。

【0014】図2は、損失のある光ファイバー中を伝搬する光ソリトンパルスのパルス幅および強度の変化を示した図であって、横軸に伝搬距離をとり、縦軸にパルス幅の変化を描いたものである。ここで、光ファイバーの損失を $0.23\text{ dB/km}$ 、群速度分散を $-2.0\text{ ps/km}$ としており、光ソリトンパルスの半値幅を $20\text{ ps}$ 、波長を $1.5\mu\text{m}$ としており、このときの $\alpha_0$ は $50.5\text{ km}$ である。実線aは $A=2.2$ に相当する入力を与えた場合、破線bは $A=1.8$ に相当する入力を与えた場合、点線cは $A=1.4$ に相当する入力を与えた場合の計算である。光ファイバーへの入射光ソリトンパルスが $A=1.0$ より強い場合には、まずパルス幅は縮くなり、ファイバーの損失で振幅が小さくなるとパルス幅が次第に広がっていく。その結果この例において、 $A=1.4$ の場合では37km伝搬したときにパルス幅が入力と同一になるが、 $A=1.8$ の入力では60km伝搬したときに、さらに $A=2.2$ の入力では75km伝搬したときにパルス幅が入力と同一になる。できるだけ中継間隔を長くするためにこの75kmを本発明の中継間隔の一例として用いる。

【0015】図3は本発明の中心となる波形形成法のうち第1の方法である光スイッチによる波形整形およびリタイミング効果を示す図であって、(3-1)は光ファイバーFへの入力ソリトンパルス、(3-2)および(3-3)は集中定数型光増幅器による多中継伝送にともなう非ソリトンの光成分の増加の様子を示す。そこでソリトン信号に同期した信号でソリトンの波形整形を行なう。このスイッチングの様子を(3-3)の波線で

4)に示す。(3-3)ではパルス間のすそ野がもち上っているが、波形整形を行うことによってすそ野が0に落ち、(3-1)と同等のソリトンパルスが(3-4)に得られている。もし波形整形機能を用いない場合は(3-3)の実線のようにソリトンパルス自体が広がってしまい伝送距離が十分に拡張できない。もちろん従来のソリトンによらない光伝送方式に比べればソリトンを用いる方法はかなり伝送距離を拡大できるものであるが、本整形、リタイミング方式をも採用するとさらに伝送距離が拡大できることが重要なポイントとなる。

【0016】このリシェーピング、リタイミング機能を実現する具体的手段としてはGHz帯で応答が可能な半導体レーザー変調器、LiNbO<sub>3</sub>変調器その他の高速スイッチが考えられる。リタイミングの構成は図6、図7を用いて後に説明する。

【0017】また、図3の(3-4)に示した1101信号の“0”の部分のもち上がりは非ソリトンの光成分であるが、これを小さくいるためには、非ソリトンの光成分が成長しないうちに、光スイッチによる波形整形を行なうことが望ましい。次に、波形整形法の第2の方法である可飽和吸収法について述べる。

【0018】可飽和吸収体(Saturable Absorber)により、この非ソリトンの光成分を取り除くことも可能である。即ち、可飽和吸収体により、出力の高い“1”の信号は透過させ、“0”もしくは“1”と“1”との谷間など本来何も存在しないところに発生した微弱な非ソリトンの光成分を取り除くことができる。従来、この技術は可視光領域のフェムト秒色素レーザーに用いてON/OFF比を向上している。つまり、パルス巾をせまくしている。このことは波形整形(リシェーピング)を意味する。ソリトンが形成される1.5μm帯における可飽和吸収体としては、MQWのエキシトン吸収の飽和を用いた半導体形可飽和吸収体などが利用できる。このようにして得られるS/N比の高いソリトンの発生の様子を図4に示す。(4-1)は入力ソリトン、図3同様(4-2)、(4-3)は伝搬にともなう非ソリトンの光成分の発生を示し、(4-4)において可飽和吸収体を通過させることにより、非ソリトンの光成分が十分に除去される様子を示す。つまり、(4-3)のうち、低いレベルの光信号成分が除去されて、孤立性が高い、つまり、パルスのすそ引き(パルス巾)が小さくなっていることが分る。

【0019】光スイッチ法と可飽和吸収法はそれぞれ長所と短所があり、光スイッチ法は“0”(パルスなし)の部分の非ソリトンの光成分の取り残しがありうるが、リタイミングは信号と同期した信号で置きかえ行なうためゴードンハウス(Gordon-Haus)制限で決められるソリトンの伝送距離を打破し、超長距離に亘ってソリトンを伝送できる。一方、可飽和吸収法は非ソリトンの

制制に行なわないためにジッターが堆積し、ゴードンハウス制限によって伝送距離が制限されてしまう。

【0020】光スイッチ法によるリタイミングの重要性を図5に示す。図5において波線をスイッチングによる波形整形、実線をソリトンとすると、あるべきタイミングから遅れているパルス(a-1)は正規のタイミング(a-2)に引き込まれ、(b-1)の中心にあるためそのまま(b-2)にとり、また(c-1)は(a-1)、(a-2)とは逆方向に(c-2)のように中心に引き込まれる。このためいつも光スイッチングによってリタイミングを図ることができる特徴を持っている。

【0021】本方法を確実に実現するためには光スイッチ法と可飽和吸収法を同時に用いることにより両者の優れた点を引き出すことも考えられる。その場合のRとしてはハイブリッド形(光スイッチ法+可飽和吸収法)となる。ここで光スイッチ法によるリタイミングについて述べる。

【0022】光スイッチ法によるリタイミングの取り方を図6に示す。まず光カップラーCで光の一部を分岐し光検出器Dで検出(光/電気)した後、狭帯域フィルターを用いたタイミング抽出回路Tにより、そのデータ信号の基本波を抽出する。その位相は位相制御器Pにより制御することにより、その出力を電気増幅器EAで増幅した後、光スイッチ(変調器)Sを動作させる。位相制御器Pを適当に変化させることにより、ソリトン信号列と光スイッチ信号の位相を合わせるにより、同期をとり波形整形を行なう。以上が最も基本的な波形整形およびリタイミング回路Rの構成である。この際、RとRとの間におけるソリトンのジッターおよび相互作用は充分小さいように設定しておく。

【0023】その他のリタイミングの方法としては、ソリトンのキャリア周波数から充分離れたところに $f_1$ および $f_2$ の微弱なコヒーレント(coherent)光をソリトンと同時に伝搬させ、 $|f_1 - f_2|$ がリタイミングの周波数(ソリトン伝送速度:ソリトンパルスのくり返し周波数)になるように設定しておく方法がある。その様子を図7に示す。まず、光フィルターOF、光検出器D、電気フィルターFにより $|f_1 - f_2|$ を取り出す。その位相を位相制御器Pにより調整した後、図6と同様電気増幅器EAで増幅した後、光スイッチを動作させる。この方法によれば、任意の場所でもリタイミングが可能である。

【0024】また図7の方法の他にリタイミング周波数 $|f_1 - f_2|$ を取り出す方法として、ソリトンの周波数から充分離れたところに $f_1$ 、 $f_2$ を送る代わりにリタイミングの周波数 $|f_1 - f_2|$ の正弦波で振幅変調された微弱なCW光を伝搬させ、これを図7と同じ方法で再生し、光スイッチ動作に用いることが可能である。つまり、図1を用いて説明すると、中継器がある所で

およびリタイミング器Rの順器を入れかえてもよい。

【0025】図8は本発明を適用した場合の効果を示すためのシミュレーション結果であり、(a)は従来法、

(b)は本発明の光波形整形とリタイミングを375km毎(75×5)に行なった場合である。条件としてはソリトンパルスの半値全幅 $\tau_{FWHM}$ を20ps、波長( $\lambda$ )=1.55 $\mu$ m、光ファイバーの損失を0.23dB/km、群速度分散(D)を-2ps/km/nm、中継間隔を75kmとしている。(a)では16~20中継においてリップルの発生と波形歪みが観測されるが、(b)の方法では波形歪み無しで長距離に亘って伝搬していることがわかる。

【0026】図9は本発明の実施の第2例を示す。この場合一対のソリトンパルスを伝搬させており、パルスの間隔100ps(10GHz)、その他の条件は図8と同じである。(a)は従来法であり、(b)は $\cos^2$ 形の波形整形を375km毎に行なった結果である。これによると(a)の従来法ではソリトン対に波形変化が生じているが、(b)の本発明ではソリトンが安定でかつきれいに長尺に亘って伝搬していることがわかる。

【0027】

【発明の効果】以上詳細に説明したように、本発明の光ソリトン伝送方法によれば複数中継ごとに光ソリトンの波形整形およびリタイミングを行なうこととしたので、従来に比べて長距離伝搬にともなうソリトン波形の歪みが大幅に改善されるとともに、S/N比が良くなり、中継距離の全長を大幅に拡大することができる。これによる経済性も非常に大きく、超長距離高速ソリトン伝送を安価で提供できることが可能になる。

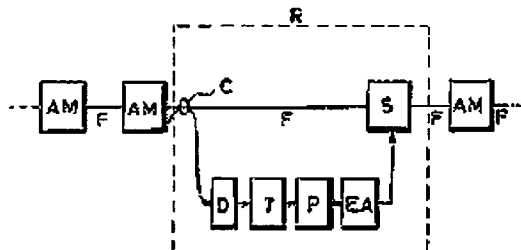
【図面の簡単な説明】

【図1】



1:光ソリトン発生器、2:受光器、AM:光増幅器、R:波形整形およびリタイミング器、F:光ファイバー

【図6】



【図1】本発明に係る局在化した光増幅器および光ソリトンの波形整形およびリタイミングを有する光ソリトンを用いた伝送システムの一実施例を示す構成説明図である。

【図2】本発明を説明するための損失のある光ファイバー中を伝搬する光パルスのパルス幅の変化を示す特性図である。

【図3】本発明に係る光スイッチングによる光ソリトンの波形整形の様子を示す波形図である。

【図4】本発明に係る可飽和吸収体による光ソリトンの波形整形の様子を示す波形図である。

【図5】本発明による光ソリトンのタイミングの様子を示す波形図である。

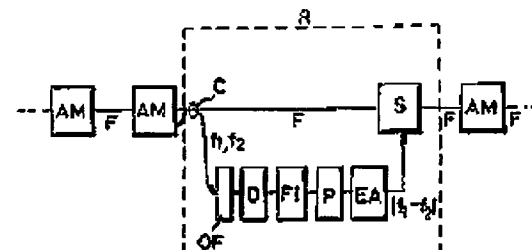
【図6】本発明に係る光スイッチによる光ソリトンの波形整形用信号の同期方法の第一例を示すブロック図である。

【図7】本発明に係る光スイッチによる光ソリトンの波形整形用信号の同期方法の第二例を示すブロック図である。

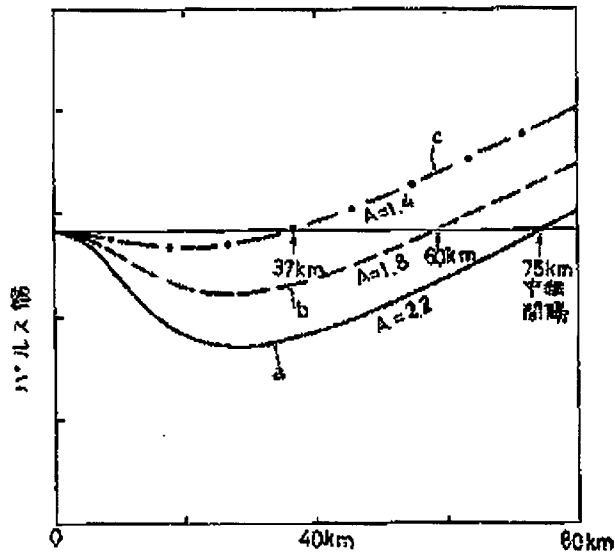
【図8】本発明効果を示す計算結果の第一例を示す波形図である。

【図9】 $\cos^2$ 形の波形整形による本発明効果を示す計算結果の第二例(光ソリトンパルス対)の波形図である。1…光ソリトン発生器、2…受光器、AM…光増幅器、F…光ファイバー、R…波形整形およびリタイミング器、C…光カップラー、D…光検出器、T…タイミング抽出回路、P…位相制御器、FA…光増幅器、S…光スイッチ(変調器)、OF…光フィルタ、FI…電気フィルタ。

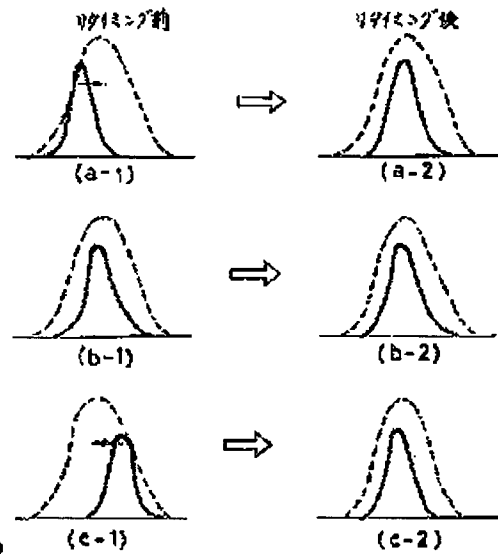
【図7】



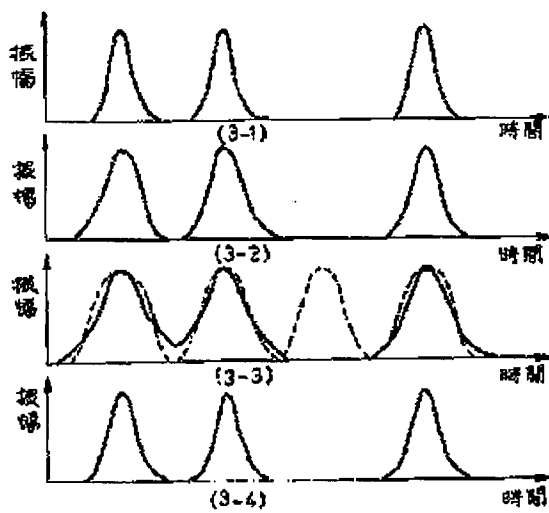
【図2】



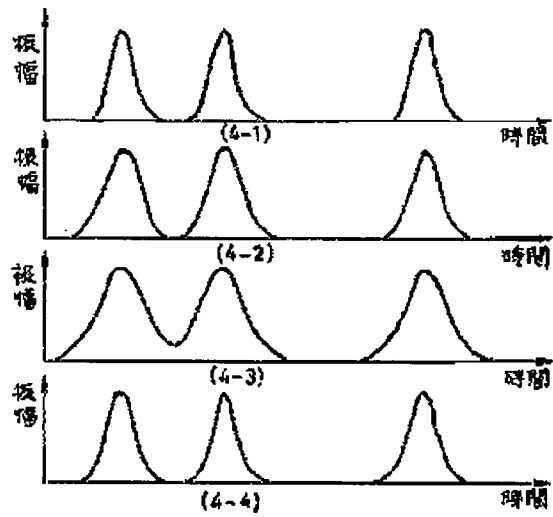
【図5】



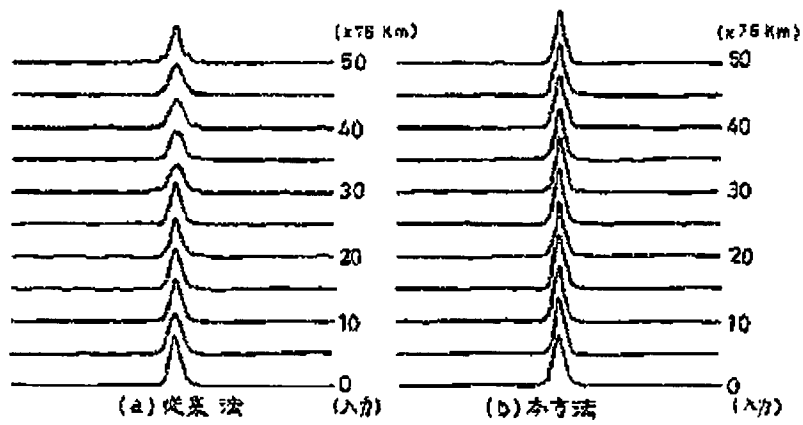
【図3】



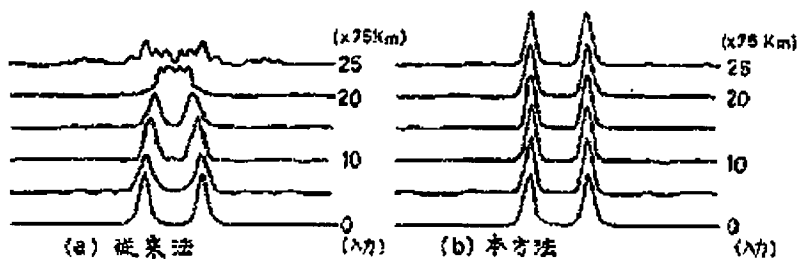
【図4】



【図8】



【図9】



(8)

特開平4-304432

フロントページの続き

(72)発明者 鈴木 和宣

東京都千代田区内幸町一丁目1番6号 日  
本電信電話株式会社内



**OPTICAL SOLITON TRANSMITTING METHOD**

**Publication number:** JP4304432

**Publication date:** 1992-10-27

**Inventor:** NAKAZAWA MASATAKA; KUBOTA HIROKAZU;  
YAMADA HIDEKAZU; SUZUKI KAZUNOBU

**Applicant:** NIPPON TELEGRAPH & TELEPHONE

**Classification:**

- international: **G02F1/35; H04B10/16; H04B10/17; G02F1/35;  
H04B10/16; H04B10/17; (IPC1-7): G02F1/35; H04B9/00**

- European:

**Application number:** JP19910068557 19910401

**Priority number(s):** JP19910068557 19910401

**Report a data error here**

**Abstract of JP4304432**

**PURPOSE:**To provide an economical high-speed light soliton transmitting method by removing non-soliton light components by waveform shaping and retiming and realizing soliton transmission over an ultra long distance. **CONSTITUTION:**After a normalized amplitude A which determines the intensity of a light soliton pulse is set to >1 and the soliton pulse made incident on a single mode optical fiber F is propagated in the optical fiber F, an optical amplifier AM which compensates the light loss in the optical fiber F is installed at the position where the pulse width of the soliton pulse becomes equal to the width of the soliton pulse made incident on the optical fiber F to perform multiple repeating long-distance soliton transmission. The waveform shaping and retiming of the light soliton are performed by a waveform shaping and retiming unit R at each time of repeating.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide